LINEA ELETTRICA AEREA A 132-150 kV SEMPLICE TERNA A TRIANGOLO – TIRO PIENO

CONDUTTORI ∅ 31,5 mm – EDS 18% - ZONA "B"

UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO "**E**"

CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE SUL SOSTEGNO

Storia delle revisioni

Rev. 00	del 13/09/2007	Prima emissione

Elaborato		Verificato			**Approvato**
L. Alario ING-ILC-COL		L. Alario ING-ILC-COL			**R. Rendina** **ING-ILC**

m010CI-LG001-r02

Questo documento contiene informazioni di proprietà di Terna SpA e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna SpA

CALCOLO ESEGUITO IN CONFORMITA' AL D.M. DEL 21/03/1988
DI CUI ALLA LEGGE N. 339 DEL 28/06/1986

PER IL CALCOLO DI VERIFICA DEL SOSTEGNO VEDERE
ELABORATO: **CESI prot. A7014921 – Rev.0 – Settembre 2007**

1) CARATTERISTICHE GENERALI

Conduttore	All. Acc. ∅ 31,5 mm (**RQUT0000C2**)
Corda di guardia	Acciaio ∅ 11,5 mm (**LC23**) - Acciaio rivestito di alluminio ∅ 11,5 mm (**LC51**) Corda di guardia con fibre ottiche ∅ 17,9 mm (**LC50**) (*)
Isolatori	Vetro temprato a cappa e perno in catene di 9 elementi nelle sospensioni semplici e di 9 elementi nelle sospensioni doppie e amarri.
Tipo fondazione	In calcestruzzo a piedini separati
Tipo sfera di segnalazione aerea	Diametro 60 cm; peso 5,5 Kg; passo di installazione ≤ 30 m.
Messa a terra	Secondo le norme citate
Larghezza linea	7 m tra i conduttori esterni

2) CONDUTTORI E CORDA DI GUARDIA

2.1 CARATTERISTICHE PRINCIPALI

			CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA		
			RQUT0000C2	LC 23	LC 51	LC 50
MATERIALE			All. Acc.	Acciaio	Acc.rivestito di All.	Al + Lega Al + Acciaio
DIAMETRO CIRCOSCRITTO		(mm)	31,5	11,5	11,5	17,9
SEZIONI TEORICHE	ALLUMINIO	(mm^2)	519,50	0	0	118,90 (Al + Lega Al)
	ACCIAIO	(mm^2)	65,80	78,94	80,65	57,70
	TOTALE	(mm^2)	583,30	78,94	80,65	176,60
MASSA UNITARIA		(Kg/m)	1,953	0,621	0,537	0,820
MODULO DI ELASTICITA'		(N/mm^2)	68000	175000	155000	88000
COEFFICIENTE DI DILATAZIONE		(1/°C)	$19,4 \times 10^{-6}$	$11,5 \times 10^{-6}$	13×10^{-6}	17×10^{-6}
CARICO DI ROTTURA		(daN)	16852	12231	9000	10600

2.2 CONDIZIONE BASE E CONDIZIONE DERIVATA

- CONDIZIONE BASE

EDS: (Every Day Stress) 15°C, conduttore scarico
In detta condizione il tiro orizzontale è stato assunto costante al variare della campata equivalente della tratta (ovvero della campata reale per la corda di guardia). I valori di tiro per conduttore e corda di guardia sono:

	CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA		
	RQUT0000C2	LC 23	LC 51	LC 50
TIRO ORIZZONTALE T_O (daN)	**3034**	**1113**	**1008**	**1537**

- CONDIZIONE DERIVATA

MSA: -5°C, vento alla velocità di 130 km/h

MSB: -20°C, vento alla velocità di 65 km/h, manicotto di ghiaccio di 12 mm

(*) Corde di guardia di altra tipologia potranno essere utilizzate purchè vengano rispettati i valori massimi delle azioni trasmesse dalla corda indicata.

In detta condizione i tiri vengono ottenuti risolvendo la equazione del cambiamento di stato:

$$\alpha\,(\Theta_d - \Theta_b) + \frac{1}{S\,E}(T_d - T_b) = \frac{p'^{\,2}_d\,L^2}{24\,T_d^2} - \frac{p'^{\,2}_b\,L^2}{24\,T_b^2} \qquad (1)$$

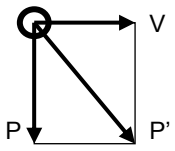
Ove:

Θ_d = Temperatura della condizione derivata
Θ_b = Temperatura della condizione base
S = Sezione totale del conduttore
E = Modulo di elasticità
T_d = Tiro orizzontale della condizione derivata
T_b = Tiro orizzontale della condizione base
P'_d = Carico risultante per metro di conduttore nella condizione derivata
P'_b = Carico risultante per metro di conduttore nella condizione base
L = Campata equivalente (*) della tratta nel caso di conduttore ovvero campata reale nel caso di corda di guardia

I valori di spinta del vento per metro di conduttore, di peso per metro di conduttore e di carico risultante per metro di conduttore sono riportati nella seguente tabella:

		CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA (**)		
		RQUT0000C2	LC 23	LC 51	LC 50
CONDIZIONE **EDS**	V (daN/m)	0	0	0	0
	P (daN/m)	1,9159	0,6090	0,5270	0,8044
	P' (daN/m)	1,9159	0,6090	0,5270	0,8044
CONDIZIONE **MSA**	V (daN/m)	2,2249	0,8122 (1,0896)	0,8122 (1,0896)	1,2643 (1,5417)
	P (daN/m)	1,9159	0,6090 (0,7889)	0,5270 (0,7069)	0,8044 (0,9842)
	P' (daN/m)	2,9361	1,0152 (1,3452)	0,9682 (1,2988)	1,4985 (1,8291)
CONDIZIONE **MSB**	V (daN/m)	0,9800	0,6268 (0,6962)	0,6268 (0,6962)	0,7399 (0,8092)
	P (daN/m)	3,3959	1,4086 (1,5884)	1,3266 (1,5064)	1,8217 (2,0015)
	P' (daN/m)	3,5345	1,5418 (1,7343)	1,4672 (1,6595)	1,9663 (2,1589)

(**) I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per il volo a bassa quota con diametro di 60 cm installate sull'intera campata.



V = spinta del vento per metro di conduttore (daN/m)
P = peso per metro di conduttore (daN/m)
$P' = \sqrt{v^2 + p^2}$ = carico risultante per metro di conduttore (daN/m)

(*) $L = \sqrt{\frac{\sum Li^3}{\sum Li}}$ ove le Li sono le campate reali comprese fra due successivi amarri

3) UTILIZZAZIONE MECCANICA DEL SOSTEGNO

3.1 FORMULE PER IL CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE

Il calcolo del sostegno è stato eseguito tenendo conto delle azioni esterne dei conduttori e delle corde di guardia nelle due ipotesi **MSA** e **MSB.**

Le formule per il calcolo di tali azioni, sia per conduttori che per corde di guardia (supposti integri), sono le seguenti:

Conduttori
- Azione trasversale $T = v\,Cm + 2\ \text{sen}\ \delta/2\ T_0 + t^*$ (2)
- Azione verticale $P = p\,Cm + K\,T_0 + p^*$ (3)

Ove:

v = spinta del vento per metro di conduttore
p = peso per metro di conduttore i valori di v e di p sono riportati in 2.2
t* = spinta del vento su isolatori e morsetteria
p* = peso di isolatori e morsetteria
T_o = tiro orizzontale nel conduttore

I valori di t*e p* e To sono riportati nella seguente tabella:

	CONDUTTORE			CORDA DI GUARDIA (**)				
	RQUT0000C2	ISOLATORI E MORSETTERIA		**LC 23**	**LC 51**	**LC 50**	ISOLATORI E MORSETTERIA	
	To (daN)	t* (daN)	p* (daN)	To (daN)	To (daN)	To (daN)	t* (daN)	p* (daN)
MSA	**4650**	**120**	**170**	**1835 (2393)**	**1821 (2397)**	**2807 (3380)**	**0**	**0**
MSB	**5670**	**30**	**170**	**2735 (3050)**	**2702 (3025)**	**3640 (3970)**	**0**	**0**

(**) I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per il volo a bassa quota con diametro di 60 cm installate sull'intera campata.

I suddetti tiri sono stati ottenuti mediante la equazione del cambiamento di stato e rappresentano i massimi valori che il tiro assume nella suddetta ipotesi:
per i conduttori in un intervallo di campate equivalenti pari a 200 ÷ 800 m
per le corde di guardia in un intervallo di campate reali pari a 100 ÷ 1000 m
Dal confronto dei tiri orizzontali, delle spinte vento e dei pesi delle corde di guardia nelle diverse ipotesi si evince che la corda di guardia LC50 è quella che induce sul sostegno in esame le maggiori azioni esterne.
Pertanto il diagramma di utilizzazione (punto 3.2) e le azioni esterne (punto 3.3) sono state determinati con la corda di guardia LC50. L'utilizzo di altre corde di guardia diverse da LC50 obbligano il Progettista a realizzare le necessarie verifiche strutturali e a descriverne il diagramma di impiego (fig.3).

caratteristiche geometriche del picchetto:

Cm = campata media
δ = angolo di deviazione
K = costante altimetrica (*)

$$k = \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2}$$ (vedi fig.1)

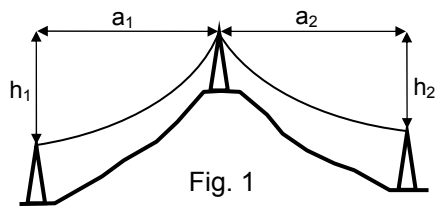


Fig. 1

(*) L'espressione di K è la seguente:
ove le campate "a" hanno sempre segno positivo ed i dislivelli "h" segno positivo o negativo secondo lo schema di fig. 2

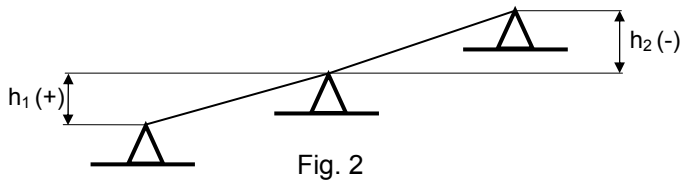
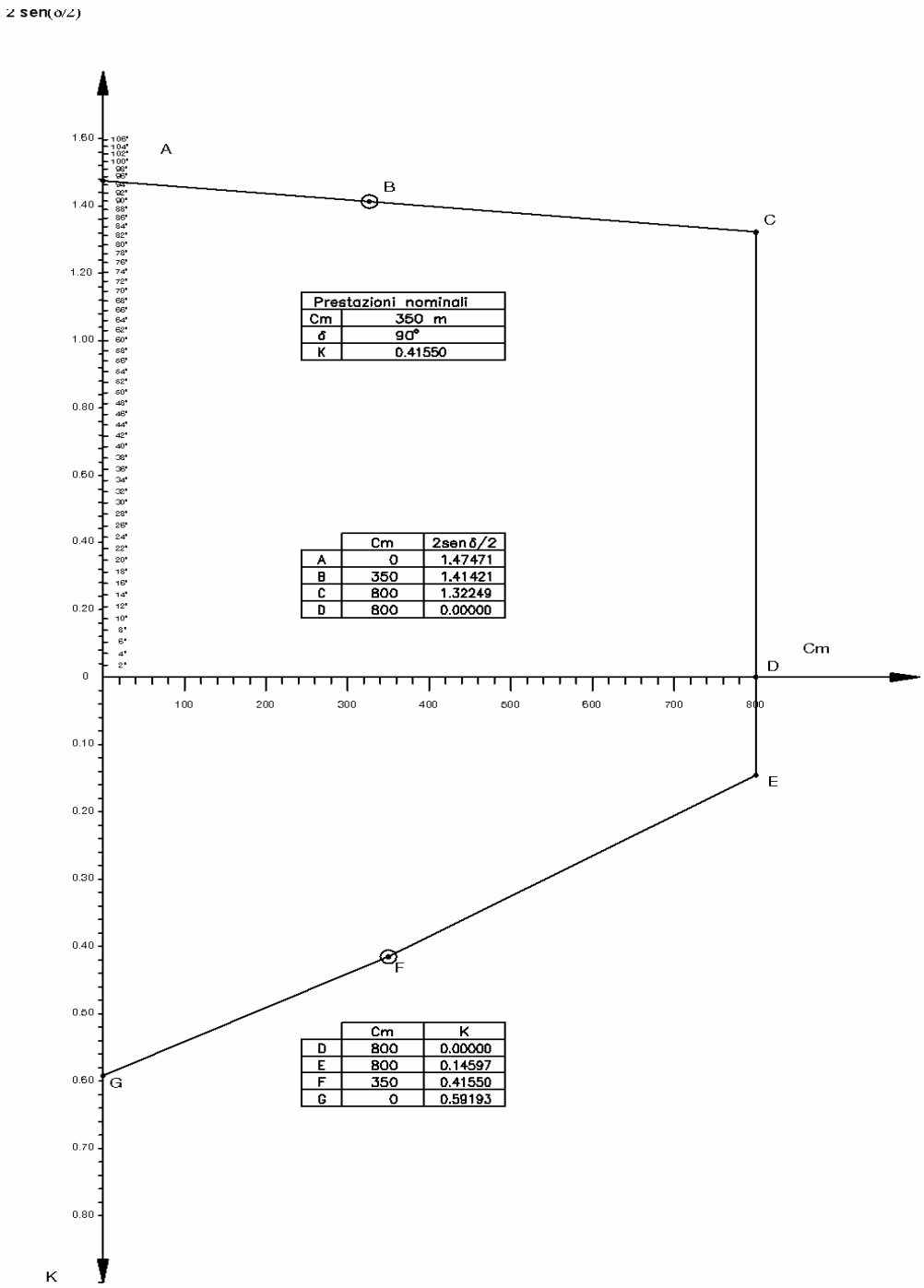


Fig. 2

3.2 DIAGRAMMA DI UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO



IL DIAGRAMMA DELIMITA

a) Nel piano (Cm, δ) un insieme di punti ai quali corrisponde un'azione trasversale complessiva non superiore a quella di calcolo del sostegno (campo di utilizzazione trasversale)

b) Nel piano (Cm, K) un insieme di punti ai quali corrisponde un'azione verticale complessiva non superiore a quella di calcolo del sostegno (campo di utilizzazione verticale)

Pertanto, affinchè il sostegno possa essere impiegato in un picchetto di caratteristiche geometriche (Cm_i, δ_i, K_i) è necessario che i punti (Cm_i, δ_i) e (Cm_i, K_i) siano compresi rispettivamente nei campi di utilizzazione trasversale e verticale.

3.3 AZIONI PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

Sono state determinate le azioni esterne per il calcolo del sostegno in condizioni MSA e MSB, sia nell'ipotesi di conduttori e corda di guardia integri (ipotesi normale), sia nell'ipotesi di rottura di un conduttore o della corda di guardia secondo quanto prescritto dalle norme (ipotesi eccezionale).

IPOTESI NORMALE

- Azioni trasversali e verticali:

Sono stati considerati i massimi valori che si verificano nelle più gravose condizioni d'impiego del sostegno (vedi diagramma di utilizzazione)

- Azioni longitudinali:

Sia per i conduttori che per le corde di guardia è stato considerato uno squilibrio di tiro per tener conto rispettivamente della diversa lunghezza delle campate equivalenti delle due tratte adiacenti al sostegno (conduttori) e della diversa lunghezza delle campate reali adiacenti al sostegno (corda di guardia).

Per ogni picchetto si dovrà perciò verificare mediante (1) che la effettive differenza di tiro nelle condizioni MSA e MSB, sia minore o eguale dei valori di squilibrio considerati per il calcolo del sostegno.

Per un' indagine rapida sono stati costruiti i diagrammi riportati in fig. 3, che tiene conto dei massimi squilibri relativi al conduttore fig. 3a e alla corda di guardia calcolato con l'impiego delle sfere di segnalazione fig 3b .

Riportando in ascisse la campata maggiore (L_M) [campata equivalente per i conduttori fig.3a – campata reale per la corda di guardia fig.3b] tra le due adiacenti al sostegno e in ordinata la minore (L_m), se il punto di coordinata (L_M, L_m) sta al disopra del diagramma la verifica è positiva poiché, lo squilibrio di tiro è minore di quello di calcolo.

Fig.3a

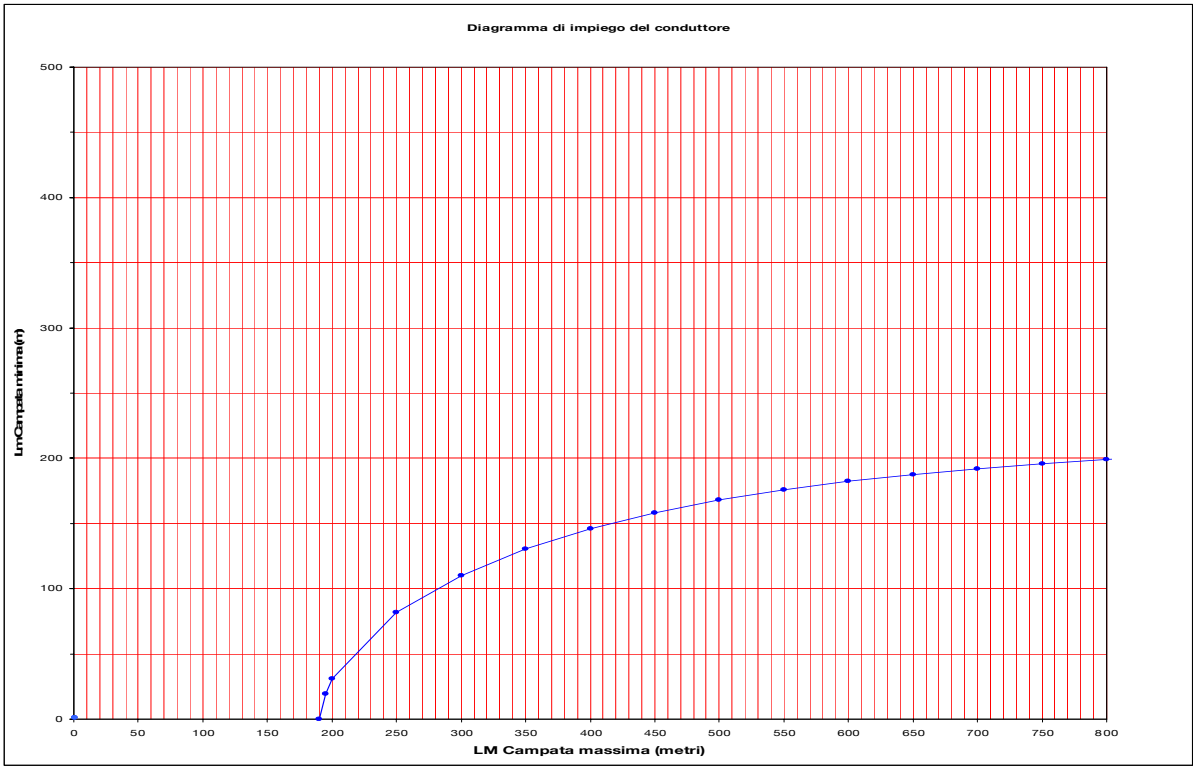
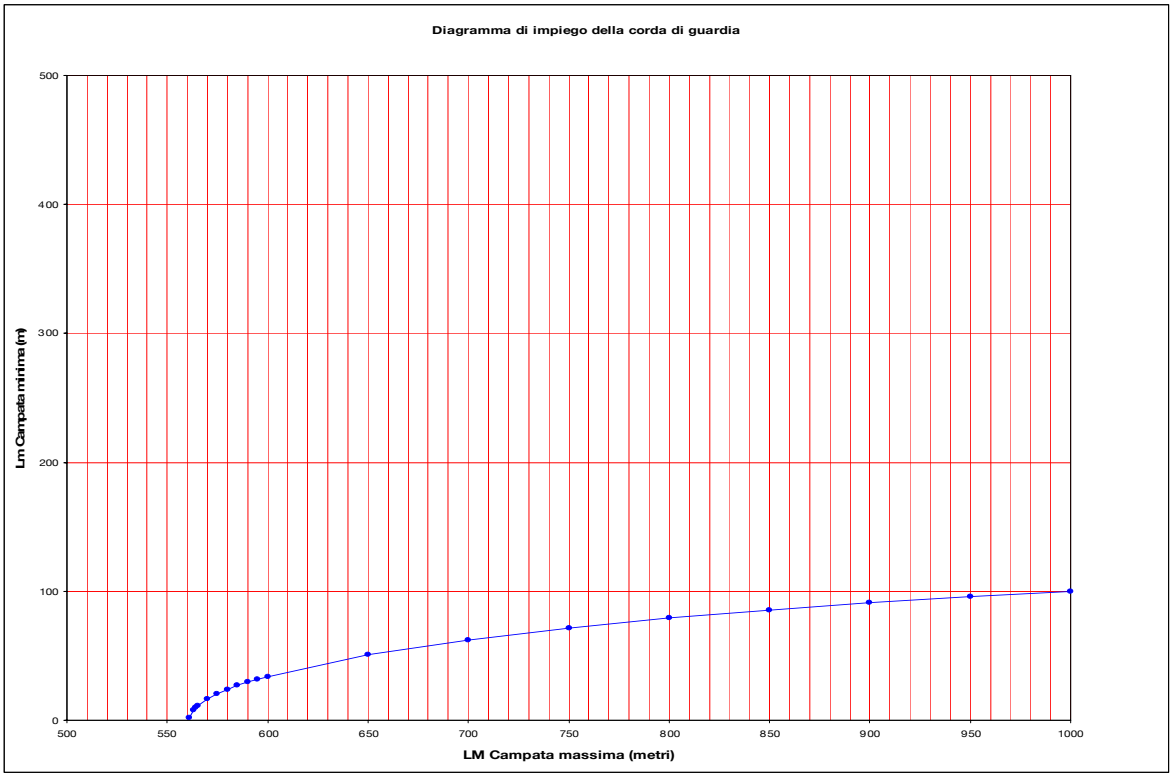


Fig. 3b



IPOTESI ECCEZIONALE:

- Azioni trasversali e verticali:

  per i conduttori i valori sono stati ottenuti dimezzando le corrispondenti azioni in ipotesi normale (tali valori non risultano esattamente la metà in quanto nelle due ipotesi sono state mantenute costanti la spinta del vento su isolatori e morsetteria (t*) ed il loro peso (p*)).

  Per la corda di guardia i valori sono stati ottenuti invece dimezzando le corrispondenti azioni in ipotesi normale.

- Azioni longitudinali:

  sono state assunte pari al tiro T_0

VALORI DELLE AZIONI ESTERNE PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

Sono riportati nella seguente tabella:

STATO DEI CONDUTTORI	IPOTESI	CONDUTTORE RQUT0000C2			CORDA DI GUARDIA (*) LC50 (***)		
		T(daN)	P(daN)	L(daN)	T(daN)	P(daN)	L(daN)
MSA	NORMALE	8050	2923	220	(5704)	(2001)	(1100)
		8050	0	220	(5704)	(0)	(1100)
	ECCEZIONALE (**)	4085	1547	4650	(2852)	(1001)	(3380)
		4085	0	4650	(2852)	(0)	(3380)
MSB	NORMALE	8392	3715	100	(5898)	(2350)	(1300)
		8392	0	100	(5898)	(0)	(1300)
	ECCEZIONALE (**)	4211	1943	5670	(2949)	(1175)	(3970)
		4211	0	5670	(2949)	(0)	(3970)

(*) I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per il volo a bassa quota con diametro di 60 cm installate sull'intera campata.

(**) La norma CEI 11.4 al punto 2.04.05 prevede per la serie in oggetto formata da n° 3 conduttori di energia la rottura di uno dei conduttori o di una delle ventuali corde di guardia. I valori indicati si riferiscono, ovviamente, al solo conduttore (o corda di guardia) rotto.

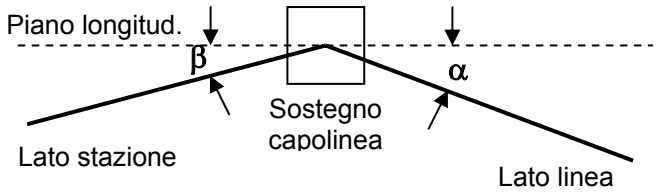
Mediante le relazioni (2) e (3) si può verificare che per tutte le terne di prestazioni geometriche (Cm, δ, K) tali che il punto (Cm, δ) sia compreso nel "campo di utilizzazione trasversale" e il punto (Cm,K) sia compreso nel "campo di utilizzazione verticale" , le azioni trasversali e verticali (sia per i conduttori che per corde di guardia) nelle condizioni MSA e MSB risultino inferiori od eguali a quelle considerate per il calcolo del sostegno e riportate nella tabella precedente.

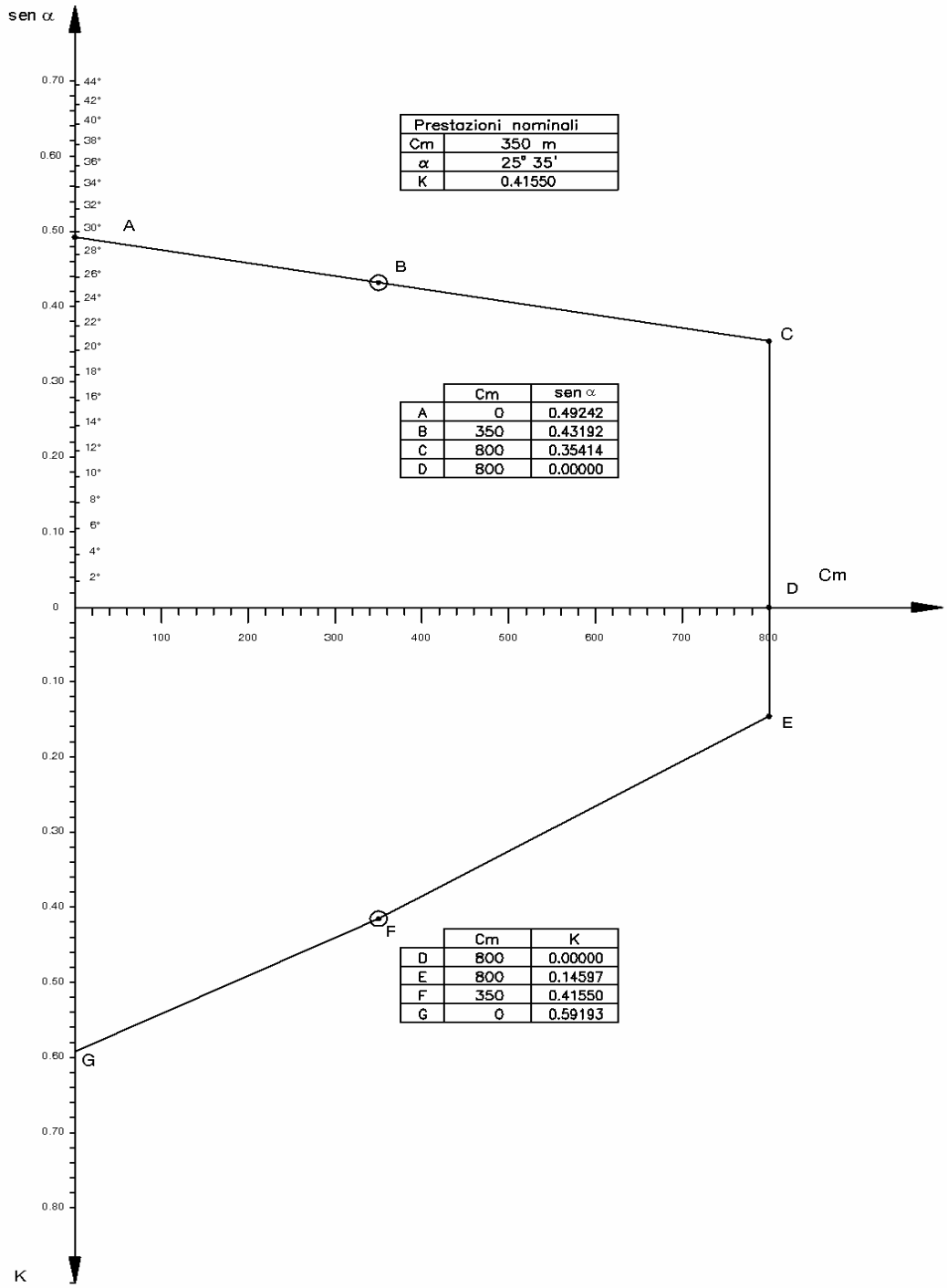
(***) Nel caso di utilizzo di corde di guardia di altra tipologia dovrà essere verificato il non superamento dei valori T , P , L, indicati.

4) UTILIZZAZIONE MECCANICA DEL SOSTEGNO IMPIEGATO COME CAPOLINEA

Il sostegno E viene impiegato anche come capolinea, qui di seguito viene riportato il diagramma di utilizzazione relativo a tale impiego.

In esso si è indicato con α l'angolo di deviazione della linea rispetto al piano di simmetria longitudinale del sostegno (vedi Fig.4)





Prestazioni nominali	
Cm	350 m
α	25° 35'
K	0.41550

	Cm	sen α
A	0	0.49242
B	350	0.43192
C	800	0.35414
D	800	0.00000

	Cm	K
D	800	0.00000
E	800	0.14597
F	350	0.41550
G	0	0.59193

VALORI DELLE AZIONI ESTERNE PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

I valori delle azioni esterne per il calcolo del sostegno sono riportati nella seguente tabella:

STATO DEI CONDUTTORI	IPOTESI	CONDUTTORE			CORDA DI GUARDIA (*)		
		RQUT0000C2			LC50 (***)		
		T(daN)	P(daN)	L(daN)	T(daN)	P(daN)	L(daN)
MSA	NORMALE	3620	2923	4650	(3424)	(2001)	(3380)
		3620	0	4650	(3424)	(0)	(3380)
	ECCEZIONALE (**)	0	0	0	(0)	(0)	(0)
		0	0	0	(0)	(0)	(0)
MSB	NORMALE	2822	3715	5670	(3228)	(2350)	(3970)
		2822	0	5670	(3228)	(0)	(3970)
	ECCEZIONALE (**)	0	0	0	(0)	(0)	(0)
		0	0	0	(0)	(0)	(0)

Per quanto riguarda le prestazioni orizzontali i valori di T e di L sono stati determinati in base alla condizione di uguaglianza della loro somma T + L nelle condizioni di amarro e di capolinea, ed assunto per L il valore massimo di To.

In una generica condizione di impiego del sostegno capolinea le azioni trasversali e longitudinali sono espresse dalle seguenti relazioni:

Conduttori
- Azione trasversale $T = v\,Cm + T_0 \operatorname{sen} \alpha + t^*$ (2')
- Azione longitudinale $L = T_0 \cos \alpha + t^*$ (3')

Si può verificare che per tutte le prestazioni geometriche (Cm, α) comprese nel "campo di utilizzazione trasversale" la somma dei valori T ed L ricavati mediante la (2') e (3') (sia per i conduttori che per la corda di guardia in entrambe le condizioni MSA e MSB) risulti inferiore od eguale alla somma dei valori T ed L riportati in tabella e relativi alla condizione di impiego $\alpha = 0$ cui corrisponde il massimo valore della azione longitudinale.

Per quanto riguarda le prestazioni verticali, esse sono rimaste invariate rispetto a quelle stabilite per il sostegno impiegato come amarro.

Si noti ancora che il sostegno è stato calcolato considerato nullo il tiro della campata di collegamento al portale di stazione.

N.B. Nella realtà tale tiro avrà un valore non nullo, benché modesto, ma ciò è a favore della sicurezza, purche l'angolo β (vedi Fig.4) non superi il valore di 45°.
Infatti se T'o ≠ 0 è il tiro ridotto, le espressioni 2' e 3' diventano:

Conduttori
- Azione trasversale $T = v\,Cm + T_0 \operatorname{sen} \alpha + T'_0 \operatorname{sen} \beta + t^*$
- Azione longitudinale $L = T_0 \cos \alpha - T_0 \cos \beta$

E quindi la somma T + L non supera il valore del calcolo finche rimanga:

$$\operatorname{sen} \beta \leq \cos \beta \text{ ossia } \beta \leq 45°$$

(*) I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per il volo a bassa quota con diametro di 60 cm installate sull'intera campata.

(**) La norma CEI 11.4 al punto 2.04.05 prevede per la serie in oggetto formata da n° 3 conduttori di energia la rottura di uno dei conduttori o di una delle ventuali corde di guardia. I valori indicati si riferiscono, ovviamente, al solo conduttore (o corda di guardia) rotto.

Mediante le relazioni (2) e (3) si può verificare che per tutte le terne di prestazioni geometriche (Cm, δ, K) tali che il punto (Cm, δ) sia compreso nel "campo di utilizzazione trasversale" e il punto (Cm,K) sia compreso nel "campo di utilizzazione verticale" , le azioni trasversali e verticali (sia per i conduttori che per corde di guardia) nelle condizioni MSA e MSB risultino inferiori od eguali a quelle considerate per il calcolo del sostegno e riportate nella tabella precedente.

(***) Nel caso di utilizzo di corde di guardia di altra tipologia dovrà essere verificato il non superamento dei valori T , P , L, indicati.